

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-248261

(43)Date of publication of application : 26.09.1995

(51)Int.Cl.

G01J 9/02

G01B 1/00

G01B 9/02

(21)Application number : 06-039586

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 10.03.1994

(72)Inventor : SASAKI KENJI
FUJIWARA TAKESHI
ONO AKIRA

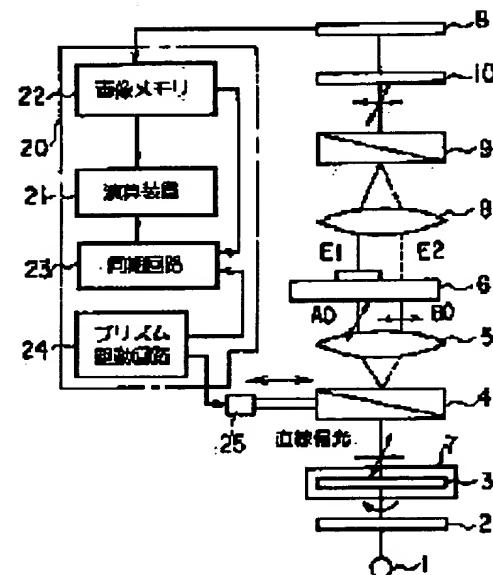
(54) PHASE DIFFERENCE MEASURING APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To achieve a highly accurate measurement of a phase difference.

CONSTITUTION: When linearly polarized light is separated into two linearly polarized lights to be transmitted through an object (6) to be measured, these two polarized components are separated with a Nomarski prism (4) into a shearing value exceeding an Airy's disc of a CCD camera (8) for observing an interference image of the object (6) to be measured. Thereafter, an interference image of the object (6) to be measured as obtained when the two linearly polarized lights transmitted through the object (6) to be measured are overlapped to interfere is observed while a phase difference is measured based on an interference image of the object (6) to be measured as obtained when the phase is changed between the two linearly polarized lights.

See Pg 1



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2000 Japanese Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項1】 特定の方向に偏光した光を所定角度の各偏光成分に分離して被測定物を透過させ、この透過後の各偏光成分を重ね合わせて干渉させた前記被測定物の干渉像を観察し、かつ前記各偏光成分間の位相を変化させたときの前記各被測定物の干渉像に基づいて位相差を測定する位相差測定装置において、

前記被測定物の像を観察する光学的エアリーディスク径以上の間隔に設定され、前記各偏光成分をそれぞれ前記被測定物のシアリング方向に分離する分離光学系を配置したことを特徴とする位相差測定装置。

【請求項2】 特定の方向に偏光した光を所定角度の各偏光成分に分離して被測定物を透過させ、この透過後の各偏光成分を重ね合わせて干渉させた前記被測定物の干渉像を観察し、かつ前記各偏光成分間の位相を変化させたときの前記各被測定物の干渉像に基づいて位相差を測定する位相差測定装置において、

前記特定の偏光のみを取り出す偏向子と、

前記被測定物の干渉像を観察する光学的エアリーディスク径以上の間隔に設定され、前記各偏光成分をそれぞれ前記被測定物のシアリング方向に分離する分離光学系と、

少なくとも前記偏光子を回転させて前記各偏光成分間の光強度比を変化させる回転機構と、を具備したことを特徴とする位相差測定装置。

【請求項3】 分離光学系は、光の波長と被測定物の干渉像の観察に用いられるレンズの開口数により決まる分解能の2倍以上の間隔量に設定されていることを特徴と

$$r = 0.61 \lambda / NA$$

の関係があり、ここで r は波長、 NA はレンズの開口数である。

【0005】 そして、これら2つの円の間隔 ($2r$: エアリーディスク) が、2つの偏光成分のシアリングとなる。これら2つの円の間の光は、CCD等の観察素子上では、同じ点に結像される。このとき、パターンAの部分からの光として干渉させる偏光にパターンBの部分からの光が含まれる。これと同様にパターンBの部分からの光として干渉させる偏光にパターンAの部分からの光が含まれる。

【0006】 このため、このように他のパターン部分の干渉が含まれるので、高精度な位相測定が困難となっている。つまり、シアリングが観察光学系の分解能以下であれば、1つの偏光に測定したい2つのサンプル点の情報が混入してしまい高精度な位相測定が困難となる。

【0007】 又、被測定物の透過率が大きく異なる2つのパターンを持つときは、これらパターンをそれぞれ透過した2つの偏光の光強度に大きな差が生じる。このため、これら偏光の干渉のコントラストが低下し、SN比の高い測定が困難となる。

【0008】

する請求項1又は2記載の位相差測定装置。

【請求項4】 分離光学系は、ノマルスキーブリズムであることを特徴とする請求項1又は2記載の位相差測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、直線偏光された光を各偏光成分に分離して被測定物に透過させ、再びこれら偏光成分を重ね合わせてその干渉画像を観察して位相差を測定する位相差測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】かかる位相差測定装置としては、例えば水銀ランプからの光を干渉フィルタを透過させて所定波長の光を取り出し、この光を偏光子によって2つの偏光成分に分離する。

【0003】 この後、これら2つの偏光成分を被測定物上にシアリング(横ずらし)して透過させ、再びこれら透過した各偏光成分を重ね合わせて干渉させ、このときの被測定物の干渉像をCCD(固体撮像素子)等の観察光学系を通して観察する。

【0004】 位相差の測定は、2つの偏光成分間の位相を変化させ、これら位相差のときの各被測定物の干渉像の光強度に基づいて位相差を測定するものとなっている。ところで、通常、被測定物上における2つの偏光成分のシアリングは、図6に示すように観察光学系の分解能か、それ以下になるように作られている。同図に示す円は、エアリーディスクを表し、この半径 r が光学系の分解能に相当している。すなわち、

…(1)

【発明が解決しようとする課題】 以上のように1つの偏光に測定したい2つのサンプル点の情報が混入してしまい高精度な位相測定が困難となる。又、被測定物の透過率が大きく異なる2つのパターンを持つときは、各偏光の干渉のコントラストが低下してSN比の高い測定が困難となる。そこで本発明は、高精度な位相差測定ができる位相差測定装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】 請求項1によれば、特定の方向に偏光した光を所定角度の各偏光成分に分離して被測定物を透過させ、この透過後の各偏光成分を重ね合わせて干渉させた被測定物の干渉像を観察し、かつ各偏光成分間の位相を変化させたときの各被測定物の干渉像に基づいて位相差を測定する位相差測定装置において、被測定物の干渉像を観察する光学的エアリーディスク径以上の間隔に設定され、各偏光成分をそれぞれ被測定物のシアリング方向に分離する分離光学系を配置して上記目的を達成しようとする位相差測定装置である。

【0010】 請求項2によれば、特定の方向に偏光した光を所定角度の各偏光成分に分離して被測定物を透過させ、この透過後の各偏光成分を重ね合わせて干渉させた

被測定物の干渉像を観察し、かつ各偏光成分間の位相を変化させたときの各被測定物の干渉像に基づいて位相差を測定する位相差測定装置において、特定の偏光のみを取り出す偏向子と、被測定物の干渉像を観察する光学的エアリーディスク径以上の間隔に設定され、各偏光成分をそれぞれ被測定物のシアリング方向に分離する分離光学系と、少なくとも偏光子を回転させて各偏光成分間の光強度比を変化させる回転機構と、を備えて上記目的を達成しようとする位相差測定装置である。

【0011】請求項3によれば、分離光学系は、光の波長と被測定物の干渉像の観察に用いられるレンズの開口数により決まる分解能の2倍以上の間隔量に設定されている。請求項4によれば、分離光学系は、ノマルスキーブリズムである。

【0012】

【作用】請求項1によれば、特定の方向に偏光した光を所定角度の各偏光成分に分離して被測定物に透過させる際、これら偏光成分を分離光学系により、被測定物の干渉像を観察する光学的エアリーディスク径以上のシアリング量を持たせて分離する。

【0013】この後、被測定物を透過した各偏光成分を重ね合わせて干渉させた被測定物の干渉像を観察し、かつ各偏光成分間の位相を変化させたときの各被測定物の干渉像に基づいて位相差を測定する。

【0014】請求項2によれば、偏光子を通して特定の偏光を取り出し、この特定の偏光のなされた光を分離光学系により所定角度の各偏向成分に分離して被測定物に透過させる。

【0015】この際に、被測定物の透過率の異なる部分に、それぞれ各偏光成分が透過する場合、回転機構により少なくとも偏光子を回転させて各偏光成分間の光強度比を変化させる。

【0016】このようにして偏光成分間の光強度を同一とし、被測定物を透過した各偏光成分を重ね合わせて干渉させた被測定物の干渉像を観察し、かつ各偏光成分間の位相を変化させたときの各被測定物の像に基づいて位相差を測定する。

【0017】請求項3によれば、分離光学系は、光の波長と被測定物の干渉像の観察に用いられるレンズの開口数により決まる分解能以上のシアリングに設定され、このシアリングで各偏光成分を分離する。請求項4によれば、分離光学系は、ノマルスキーブリズムにより2つの偏光成分に分離する。

【0018】

【実施例】以下、本発明の一実施例について図面を参考して説明する。図1は位相差測定装置の構成図である。水銀ランプ1から放射される光路上には、干渉フィルタ2、偏光子3、ノマルスキーブリズム4、及びコンデンサレンズ5が配置されている。

【0019】干渉フィルタ2は、水銀ランプ1から放射

する光のうち所定波長の光のみを取り出すものである。偏光子3は、干渉フィルタ2を図2に示すように透過した所定波長の光から被測定物6のシアリング方向と45度の角度をもつ2つの直線偏光のみを取り出す機能を有する。

【0020】又、偏光子3は、偏光子回転機構7に設けられており、偏光子回転機構7により光路に対して垂直方向の平面上で回転するものとなる。このように偏光子3を回転すると、2つの直線偏光間の光強度比が変化するものとなる。

【0021】ノマルスキーブリズム4は、偏光子3により取り出された2つの直交する直線偏光を分離する機能を有している。このノマルスキーブリズム4は、被測定物6の干渉像を観察する観察光学系、つまりCCDカメラ8の光学的分解能以上のシアリングに設定されている。すなわち、このシアリングは、光の波長と被測定物6の干渉像の観察に用いられるCCDカメラ8のレンズの開口数により決まる分解能以上に設定されている。

【0022】コンデンサレンズ5は、ノマルスキーブリズム4により分離された2つの直線偏光をそれぞれ被測定物6に照明するもので、ケーラ照明を構成するものである。

【0023】被測定物6を介してコンデンサレンズ5と反対側には、被測定物6を透過した2つの直線偏光の光路上に、対物レンズ8、ノマルスキーブリズム9、検光子10、及びCCDカメラ8が配置されている。

【0024】対物レンズ8は、被測定物6を透過した2つの直線偏光を集めてノマルスキーブリズム9に照射するものである。このノマルスキーブリズム9は、対物レンズ8により集められた2つの直線偏光を同一光路に重ね合わせるものである。

【0025】検光子10は、ノマルスキーブリズム9からの2つの直線偏光の同一成分を取ることで干渉を生じさせるものである。そして、この干渉像がCCDカメラ8に結像されるようになっている。

【0026】一方、測定処理装置20は、CCDカメラ8により撮像された干渉像を受け取り、かつ2つの直線偏光間の位相を変化させたときの各干渉像に基づいて位相差を測定する機能を有している。

【0027】具体的には演算装置21に画像メモリ22及び同期回路23が接続されている。画像メモリ22には、CCDカメラ8により撮像された干渉像データが記憶されるものとなる。

【0028】又、同期回路23には、プリズム駆動回路24を介してプリズム移動機構25が接続されている。このプリズム移動機構25は、ノマルスキーブリズム9を2つの直線偏光の光軸方向に対して垂直方向に移動させる機能を有している。

【0029】プリズム駆動回路24は、プリズム移動機構25によりノマルスキーブリズム9を移動したときの

2つの直線偏光の位相差を4分の1波長づつ、例えば $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化させるための駆動信号をプリズム移動機構25に送出する機能を有している。

【0030】同期回路23は、ノマルスキープリズム9の移動により2つの直線偏光の位相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化したときに同期してCCDカメラ8により撮像した干渉画像を画像メモリ22に取り込むように、プリズム移動機構25の動作と画像メモリ22の

$$I_1 = I_0 \{ 1 + \cos(\alpha + \theta) \} \quad \dots(2)$$

$$I_2 = I_0 [1 + \cos(\alpha + \theta + (\pi/2))] \quad \dots(3)$$

$$I_3 = I_0 \{ 1 + \cos(\alpha + \theta + \pi) \} \quad \dots(4)$$

$$I_4 = I_0 [1 + \cos(\alpha + \theta + (3\pi/2))] \quad \dots(5)$$

となり、これら式(2)～(5)から位相差 θ は、

$$\theta = \tan^{-1} \{ (I_3 - I_1) / (I_2 - I_4) \} \quad \dots(6)$$

を演算することによって求められる。

【0032】次に上記の如く構成された装置の作用について説明する。

(a) 水銀ランプ1から放射された光は、干渉フィルタ2によって所定の波長のみが取り出されて偏光子3に入射する。

【0033】この偏光子3は、干渉フィルタ2を透過した所定波長の光から被測定物6のシアリング方向と 90° の角度をもつ2つの直線偏光のみを取り出す。これら2つの直線偏光は、ノマルスキープリズム4に入射し、ここで2つの直交する直線偏光に分離される。

【0034】このとき、ノマルスキープリズム4は、CCDカメラ8の光学的分解能以上のシアリングで2つの直線偏光を分離する。これら2つの直線偏光は、ケーラ照明を構成するコンデンサレンズ5により被測定物6に照明される。図3はこれら2つの直線偏光の被測定物6における照明状態を示しており、2つの直線偏光の間は、CCDカメラ8の光学的分解能以上のシアリングとなっている。

【0035】この被測定物6を透過した2つの直線偏光は、対物レンズ8により集光され、ノマルスキープリズム9により同一光路に重ね合わされる。そして、検光子10において同じ成分を取ることで干渉が生じ、この干渉像がCCDカメラ8により撮像される。

【0036】一方、同期回路23は、ノマルスキープリズム9の移動により2つの直線偏光の位相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化する駆動信号をプリズム移動機構25に送出する。

【0037】このプリズム移動機構25は、ノマルスキープリズム9を光軸に対して垂直方向に移動させ、2つの直線偏光の位相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化するように設定する。

【0038】又、同期回路23は、2つの直線偏光の位

画像取り込みタイミングとを同期させる機能を有している。

【0031】演算装置21は、2つの直線偏光の位相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化させたときの各干渉像データから位相差を求める機能を有している。すなわち、これら位相差の各干渉像データからその各光量 $I_1 \sim I_4$ は、

…(2)

…(3)

…(4)

…(5)

相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化したときに同期して、それぞれCCDカメラ8により撮像された干渉像を取り込むように画像メモリ22の画像取り込みのタイミングを取る。

【0039】この同期動作によって画像メモリ22には、2つの直線偏光の位相差を $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に変化したときの各干渉像データが記憶される。演算装置21は、これら干渉像データからその各光量 $I_1 \sim I_4$ を読み取り、これら光量 $I_1 \sim I_4$ に基づき上記式(6)を演算することによって2つの直線偏光が透過した部分間の位相差 θ を求める。

【0040】このようにノマルスキープリズム4により2つの直線偏光の間をCCDカメラ8の光学的分解能以上のシアリングに設定すれば、パターンAの部分からの光として干渉させる偏光にパターンBの部分からの光が含まれず、これと同様にパターンBの部分からの光として干渉させる偏光にパターンAの部分からの光が含まれず、これにより、1つの偏光に測定したい2つのサンプル点の情報が混入することはなく高精度な位相測定ができる。

(b) 次に被測定物6において2つの直線偏光が透過する部分の各透過率が異なる場合について説明する。

【0041】この場合、ノマルスキープリズム4、9、偏光子3及び検光子10を光路から取り除いて被測定物6の透過率を求める。偏光子回転機構7により偏光子3を光路に対して垂直方向の平面上で回転させる。この偏光子3の回転により、2つの直線偏光間の光強度比は変化する。

【0042】従って、偏光子3の回転を調整すれば、透過率のそれぞれ異なる部分を透過した2つの直線偏光の光量を等しくできる。すなわち、干渉計測において、被測定物6を透過した2つの直線偏光E1、E2、つまり

$$E_1 = A \exp i \theta_1$$

…(7)

$$E_2 = B \exp i \theta$$

i は虚数の光の干渉光強度 I は、

$$I = A^2 + B^2 + 2AB \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad \cdots(8)$$

となる。

【0043】この式(9)において、第1、2項は定数項

$$A = B$$

のときに干渉強度 I は、最大のコントラストを示すようになり、高いSN比での位相差測定ができる。

【0044】ここで、被測定物6が透過率分布を持つ場合、例えば図5に示すように測定したいパターンAの透

$$E_{10} = A_0 \exp i \theta_1 \quad \cdots(9)$$

$$E_{20} = B_0 \exp i \theta_2 \quad \cdots(10)$$

とすれば、 $A_0 = B_0$ の関係で分離される。

【0046】これら2つの直線偏光がそれぞれ測定物6のパターンA、Bを透過すると、パターンAを透過後は $A = A_0$ 、パターンBを透過後は $B = B_0 / 5$ とな

$$I = A_0 \cdot A_0 \{1.04 + 0.4 \cos(\theta_1 - \theta_2)\} \quad \cdots(11)$$

となり、1.44A₀・A₀から0.64A₀・A₀までしか変化しない。

【0048】これに対して、上記の如く偏光子3を回転させると、ノマルスキーブリズム4の軸に例えれば5.7

$$A_0 = B_0 / 5 \quad (B_0 = 5 \cdot A_0) \quad \cdots(12)$$

の光強度で分離される。

【0049】これら2つの直線偏光のうち直線偏光A0がパターンAを透過すると、透過率100%でそのまま透過し、又、直線偏光B0がパターンBを透過すると、透過率20%で光量が減光されて透過する。

【0050】従って、被測定物6の各パターンA、Bを透過した2つの直線偏光は、

$$I = 2 \cdot A_0 \cdot A_0 \{1 + \cos(\theta_1 - \theta_2)\} \quad \cdots(13)$$

となり、0から4・A₀・A₀まで変化する干渉縞を得ることができる。

【0052】しかるに、この干渉像がCCDカメラ8により撮像される。一方、同期回路23は、上記同様にノマルスキーブリズム9の移動により2つの直線偏光の位相差を0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に変化する駆動信号をブリズム移動機構25に送出する。

【0053】このブリズム移動機構25は、ノマルスキーブリズム9を光軸に対して垂直方向に移動させ、2つの直線偏光の位相差を0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に変化するように設定する。

【0054】又、同期回路23は、2つの直線偏光の位相差を0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に変化したときに同期して、それぞれCCDカメラ8により撮像された干渉像を取り込むように画像メモリ22の画像取り込みのタイミングを取る。

【0055】この同期動作によって画像メモリ22には、2つの直線偏光の位相差を0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ に変化したときの各干渉像データが記憶される。演算装置21は、これら干渉像データからその各光量 I_1 ～

$$I_4$$
 を読み取り、これら光量 I_1 ～ I_4 に基づき上記式6)を演算することによって各パターンA、B間の位相差 θ を求める。

【0056】このように偏光子3を回転させて、被測定物6における透過率の低いパターンに光強度の高い直線偏光を透過させるようにしたので、被測定物6を透過した2つの直線偏光の光強度を同じにでき、SN比の高い位相差測定ができる。

【0057】又、透過率を測定する機能を持たせることによって偏光子3をどのくらい回転させればよいかが判り、精度の高い測定が可能となる。このように上記一実施例によれば、1つの偏光に測定したい2つのサンプル点の情報が混入することなく高精度な位相測定ができ、かつ被測定物6を透過した2つの直線偏光の光強度を同じにでき、SN比の高い位相差測定ができる。

【0058】又、透過率を測定する機能を持たせることによって偏光子3をどのくらい回転させればよいかが判り、精度の高い測定が可能となる。なお、本発明は、上記一実施例に限定されるものでなく次の通りに変形してよい。

【0059】例えば、適用する光学系は、微分干渉計に限らず、光をノマルスキーブリズムにより2つの偏光成分に分離して被測定物に照射し、この透過後の各偏光成分を再びノマルスキーブリズムで重ね合わせるタイプの干渉計に適用できる。

【0060】偏光子3を回転させる代わりに検光子10を回転させて各偏光成分の光強度を変化させてもよい。又、各偏光成分間の位相差を調整する手段として、ノマルスキーブリズム4を移動させる代わりに、光路側に電気光学セルを配置し、この電気光学セルにより各偏光成分間の位相差を調整してもよい。なお、この電気光学セルは、光学結晶に電場をかけて被屈折率を変化させるもので、一方向の偏光が通過しにくくなる性質を有している。又、位相補償板等を用いてもよい。

【0061】

【発明の効果】以上詳記したように本発明によれば、高精度な位相差測定ができる位相差測定装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る位相差測定装置の一実施例を示す概略構成図。

【図2】偏光子の偏光方向を示す模式図。

【図3】ノマルスキーブリズムによるシアリングを示す模式図。

【図4】偏光子回転による各偏光成分の光強度調整を示す模式図。

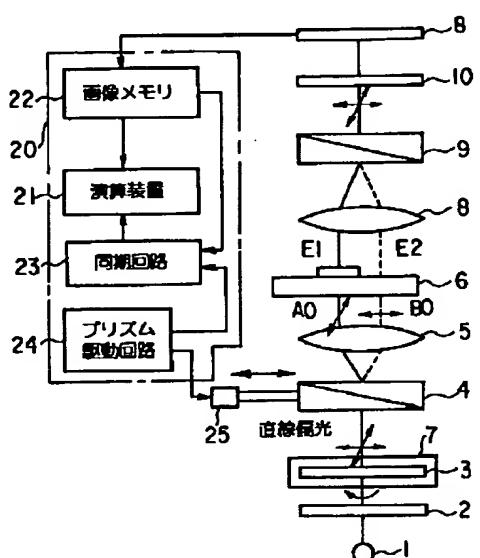
【図5】透過率の異なるパターンを示す模式図。

【図6】従来のシアリングを示す模式図。

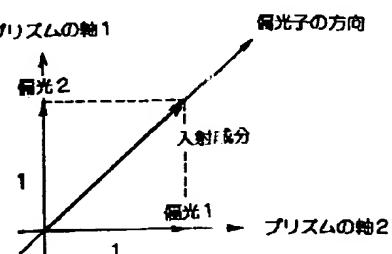
【符号の説明】

1…水銀ランプ、2…干渉フィルタ、3…偏光子、4、9…ノマルスキーブリズム、5…コンデンサレンズ、6…被測定物、7…偏光子回転機構、8…CCDカメラ、10…検光子、20…測定処理装置、21…演算装置、22…画像メモリ、23…同期回路、24…ブリズム駆動回路、25…ブリズム移動機構。

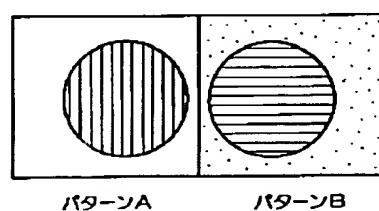
【図1】



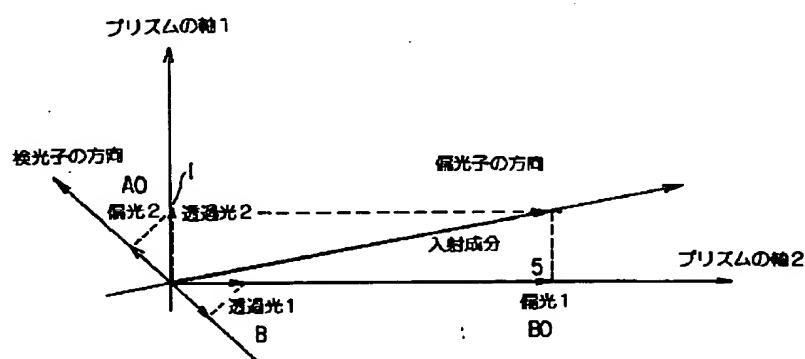
【図2】



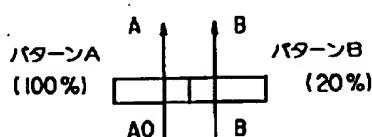
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

